Het Principe van Mach

Het principe van Ernst Mach wordt vaak genoemd als onderliggend principe voor de algemene relativiteitstheorie. Maar wat houdt dat principe precies in, en komt het in de uiteindelijke relativiteitstheorie ook wel voor?



Afbeelding 1. Ernst Mach

Ruimte: absoluut of relatief?

Is de ruimte een absolute entiteit, zoals het podium waarop een toneelstuk zich voltrekt, of is ruimte alleen onze manier van denken over bepaalde relaties tussen objecten? Heeft het zin te praten over lege ruimte?

De ware aard van de ruimte is een onderwerp dat al sinds de oudheid wordt onderzocht. Zo was Democritus, bedenker van het atomisme, ervan overtuigd dat ook ruimte zonder atomen nog steeds ‘iets’ is, terwijl Aristoteles de ruimte puur zag als de plaats der dingen. Een tweede golf van discussie over de ware aard van de ruimte vond plaats tijdens de Verlichting. Met Newtons klassieke mechanica in de hand hadden de wetenschappers en filosofen van die tijd een nieuw raamwerk om deze vragen in te behandelen. Zo konden ze aan de hand van

Newton’s bewegingswetten de ruimte bestuderen aan de hand van traagheid.

Een groot voorstander van absolute ruimte was Newton zelf. Een beroemd argument dat hij gebruikte gaat als volgt: hang een emmer op aan een touw, draai de emmer een paar keer rond zijn verticale as, en vul de emmer met water. Wanneer je loslaat ontrafelt het touw en begint de emmer rond te draaien. Door wrijving tussen de emmer en het water begint het water mee te draaien en zal het wateroppervlak niet langer vlak blijven. Dit komt doordat de middelpuntvliedende kracht (of centrifugale kracht) het water naar buiten toe drukt. Het wateroppervlak krijgt een concave vorm: het lijkt op een gebolde trechter. Maar stel je voor dat je dit bekijkt terwijl je op de rand van de emmer zit. De emmer en het water bewegen niet ten opzichte van elkaar, dus waarom verandert het wateroppervlak? Als ruimte, en daarmee beweging, slechts een relatie is tussen objecten, dan is, gezien vanaf de meebewegende rand van de emmer, er geen aanleiding te vinden voor het veranderen van het wateroppervlak. Newton concludeerde hieruit dat het veranderen van het wateroppervlak moet worden veroorzaakt door de beweging van het water ten opzichte van een absolute ruimte.

Video: Newton’s bucketEen visualisatie van Newton’s emmer. Op de vraag aan het einde van dit filmpje geeft Newton antwoord A, Mach antwoord B en geeft Einstein antwoord C.

Het principe van Mach

De Oostenrijkse filosoof en natuurkundige Ernst Mach (1838 – 1916) was niet overtuigd door het argument van Newton. Newton’s argument werkt namelijk alleen in een hypothetisch leeg universum waar alleen de emmer met water bestaat, en wanneer we aannemen dat de emmer met water ook in voledige isolatie nog steeds al zijn essentiële eigenschappen bezit. Mach merkte op dat er in ons universum wel degelijk een verschil is tussen de emmer met een vlak wateroppervlak en de emmer met een concaaf wateroppervlak. De situatie waarbij het wateroppervlak vlak is, komt altijd overeen met de situatie dat de emmer in rust is ten opzichte van de sterren aan de hemel en de situatie waarbij het wateroppervlak een concave vorm heeft, komt altijd overeen met de situatie dat de emmer ronddraait ten opzichte van de sterrenhemel. Mach concludeerde hieruit dat het veranderen van het wateroppervlak moet worden veroorzaakt door de beweging ten opzichte van de sterren aan de hemel. De fout van Newton was volgens Mach dat hij de emmer met water in isolatie bekeek terwijl dat volgens

hem niet reeël was: we moeten volgens Mach altijd kijken naar de wereld als geheel. Deze conclusie is later bekend geworden als het principe van Mach.

Dit principe kwam voort uit Machs filosofie. Hij was radicaal empirist en geloofde dat de wetenschap zich alleen moest bezighouden met, en zich alleen moest uitdrukken in termen van waarneembare dingen. Aangezien absolute ruimte en beweging, overigens ook volgens Newton, niet direct waarneembaar zijn, wou Mach deze concepten uit de natuurkunde verbannen. Hoewel hij niet is geslaagd in dat doel heeft zijn principe wel grote invloed gehad op een latere natuurkundige: niemand minder dan Albert Einstein.

Mach volgens Einstein

Mach gebruikte het naar hem vernoemde principe als *argument* tegen het wereldbeeld van Newton en heeft het nooit als een *principe* geformuleerd. Wat het principe precies inhoudt, is dan ook niet eenduidig te zeggen: er zijn meerdere interpretaties. Einstein interpreteerde Machs principe als volgt: ‘natuurwetten op lokaal niveau worden bepaald door de structuur van het universum op grote schaal’. Dit idee was heel belangrijk voor Einstein in zijn zoektocht naar een nieuwe theorie voor de zwaartekracht. In de taal van deze nieuwe theorie, de algemene relativiteitstheorie, vertaalde hij Machs principe als volgt: het is de verdeling van massa die de kromming van de ruimtetijd bepaalt, en het is deze kromming die bepaald welk coördinatenstelsel niet ronddraait.

Het is ironisch dat de uiteindelijke theorie van Einstein juist in tegenspraak is met de filosofie van Mach. Ondanks de naam bevat de algemene relativiteitstheorie nog steeds absolute elementen en beschrijft het de ruimte als een echt toneel – veel meer dan alleen relaties tussen objecten.

Bronnen:

- Mach’s Principle – Lichtenegger & Mashhoon, 2004 https://arxiv.org/abs/physics/0407078
- The Reign of Relativity – Thomas Ryckman, 2005, Oxford University Press